

砂におけるコーン表面の粗度について

甲本 達也・加来 研

(農業造構学研究室)

昭和63年5月31日受理

On the Surface Roughness of a Cone for Sand

Tatsuya KOUMOTO and Ken KAKU
(Laboratory of Construction Engineering)

Received May 31, 1988

Summary

The bearing capacity of a cone is remarkably affected by the roughness of cone surface (μ). For sand, μ is defined as the ratio of the cone-to-sand friction angle δ and the sand friction angle ϕ ; $\mu = \delta / \phi$.

In this paper the characteristics of both values, δ and ϕ , were investigated experimentally. The direct shear testing apparatus was used for tests of interface friction between sand and steel which had the similar surface roughness to those of usual cones, as well as for shear tests of sand. Both friction tests and shear tests were carried out under the condition of constant volume.

It was found from these tests that the surface roughness of usual cones for sand could take a constant value of $\mu = 0.27$, independent of sand density.

Key words : bearing capacity, cone, friction, sand, shear

緒 言

コーン表面の粗度はコーン支持力に影響を及ぼす主要な因子の1つであり、コーン支持力解析上この値のとり方が問題となる。砂地盤の場合、コーン表面の粗度 μ はコーン表面と砂との摩擦角 δ と砂のせん断抵抗角 ϕ との比として次式で定義しうる。

$$\mu = \delta / \phi \quad (1)$$

(1)式によれば、 δ は $0 \leq \delta \leq \phi$ の範囲の値をとるので μ は $0 \leq \mu \leq 1$ となる。ここで $\mu = 0$ 及び 1 はそれぞれコーン表面が滑な場合及び粗な場合を表している。

通常用いられるコーン表面に限れば δ は砂の種類(粒度と粒子形状)と状態(密度)の関数となろう。砂の δ を直接測定する方法には、直接せん断試験機を用いる方法^{1, 2, 3)}、リングせん断試験機を用いる方法⁴⁾、単純せん断試験機を用いる方法⁵⁾、等がある。

本論文は風乾状態の標準砂(豊浦砂)について直接せん断試験機の一つであり試験方法も比較的簡単な定体積せん断試験機を用いてコーン表面と砂との摩擦特性及び砂のせん断特性を明らかにしたものである。

実験及び結果

摩擦試験には定体積せん断試験機のせん断箱上部(可動部)を改造してコーン表面と同程度の滑らかさの鋼板を取り付けたものを用いた(Fig. 1). 実験は Table 1 に示すような物理的性質を有する豊浦砂の密度を $\gamma_d = 1.38 \sim 1.56 \text{ t/m}^3$ の範囲で種々変化させたもの(Table 2)について行った. 摩擦試験, せん断試験ともに初期垂直応力は $\sigma = 200 \text{ kPa}$ として定体積条件下で行った.

定体積摩擦試験により得られた代表的な垂直応力, 摩擦応力-水平変位曲線を Fig. 2 に, 定体積せん断試験により得られた代表的な垂直応力, せん断応力-水平変位曲線を Fig. 3 にそれぞれ示した. 摩擦試験によれば摩擦応力 τ_f は水平変位 h の初期において瞬

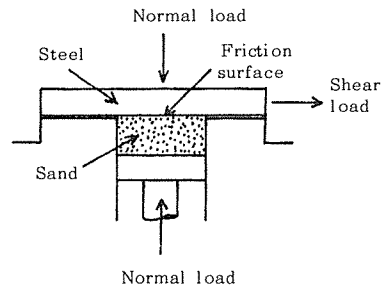


Fig. 1 Constant volume friction test apparatus

Table 1 Physical properties of Toyoura sand

Specific Gravity, G_s	Maximum void ratio, e_{max}	Minimum void ratio, e_{min}	Uniformity coefficient, U_c
2.65	0.96	0.61	1.31

Table 2 Conditions of sand samples at shear and friction tests.

Test No.	γ_d (t/m^3)	e	D_r (%)
1	1.38	0.92	11.4
2	1.40	0.89	20.0
3*	1.42	0.87	25.7
4	1.43	0.85	31.4
5	1.45	0.83	37.1
6*	1.46	0.82	40.0
7*	1.47	0.80	45.7
8	1.48	0.79	48.6
9*	1.49	0.78	51.4
10	1.50	0.77	54.3
11*	1.51	0.76	57.1
12*	1.52	0.75	60.0
13	1.53	0.73	65.7
14	1.55	0.71	71.4
15*	1.56	0.70	74.3

note) γ_d : Dry density, e : Void ratio

D_r : Relative density

* : Shear test only

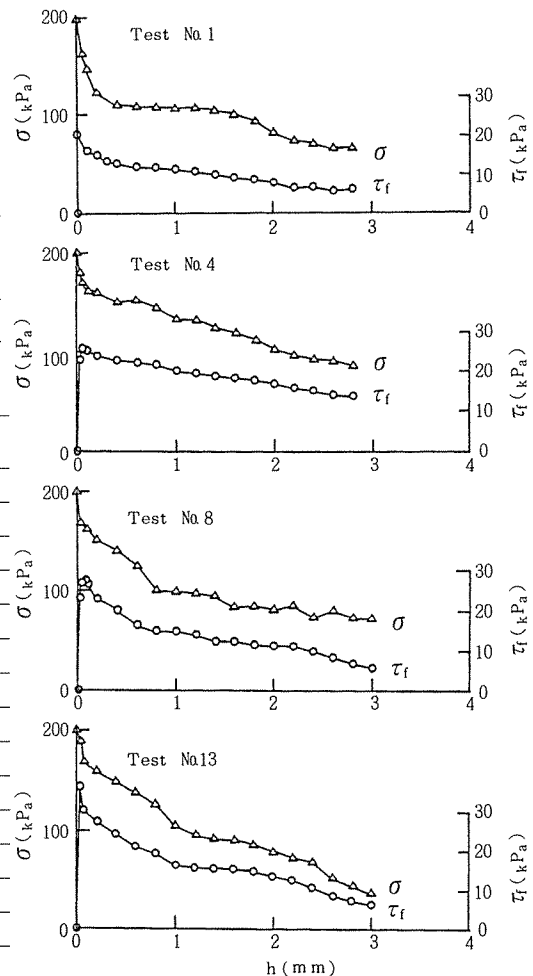


Fig. 2 Typical normal stress (σ) and friction stress (τ_f)-horizontal displacement (h) curves at constant volume friction tests.

間的にある値に達し、その後は垂直応力 σ とともに h とともに減少する (Fig. 2) のに対して、せん断試験によればせん断応力 τ_s は h とともに単調に増加するが σ は初期の値から一旦減少した後 h とともに再び増加する (Fig. 3) 傾向にある。

考察及び結論

1. 砂とコーン表面との摩擦角 δ

Fig. 2 に示すような摩擦試験結果より得られる τ_f と σ との関係を示したものが Fig. 4 である。図によれば一般に τ_f はある値に達したのち σ とともにほぼ直線的に減少する傾向にあることが分かる。いま τ_f — σ 間に次式のごとき原点を通る直線式

$$\tau_f = \sigma \tan \delta \quad (2)$$

を仮定し δ を砂とコーンとの摩擦角とする。

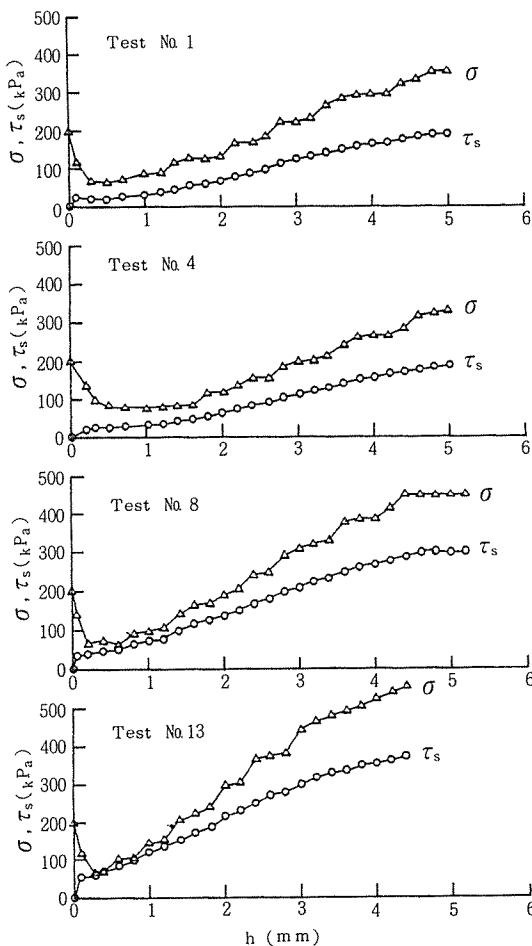


Fig. 3 Typical normal stress (σ) and shear stress (τ_s)—horizontal displacement (h) curves at constant volume shear tests.

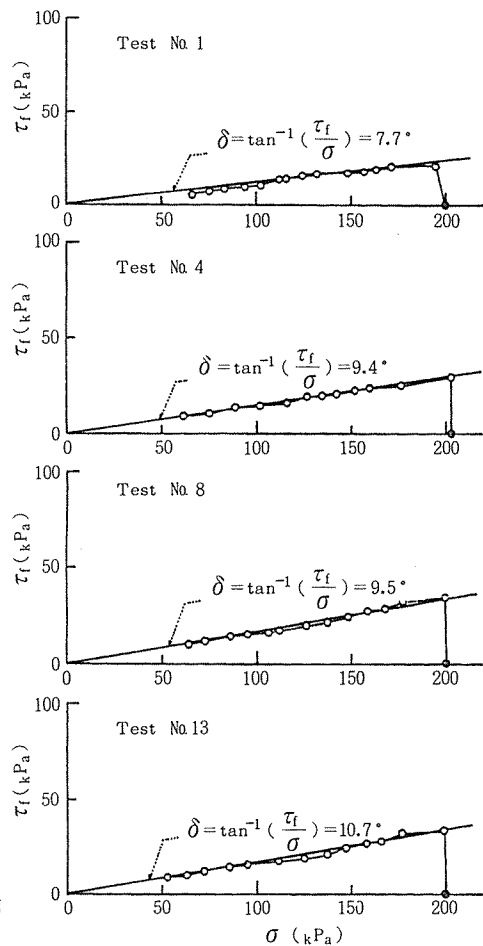


Fig. 4 Vector curves obtained from constant volume friction tests

2. 砂のせん断抵抗角 ϕ

Fig. 3 に示すようなせん断試験結果より得られる τ_s と σ との関係 (ベクトルカーブ) を示したものが Fig. 5 である. 図によれば一般にせん断の初期において τ_s の増加につれて σ は減少し, やがては τ_s の増加につれて σ もほぼ比例的に増加する傾向にあることが分かる. いま原点を通りこのベクトルカーブに接する直線式を次式

$$\tau_s = \sigma \tan \phi \quad (3)$$

で表し, ϕ をせん断抵抗角とする.

3. 摩擦角及びせん断抵抗角特性

実験により得られた摩擦角 δ とせん断抵抗角 ϕ を砂の密度 γ_d (または間隙比 e_0) に対して示したものが Fig. 6 である. 図によれば δ も ϕ もともに γ_d の増加につれてほぼ直線的に増大することが分かる.

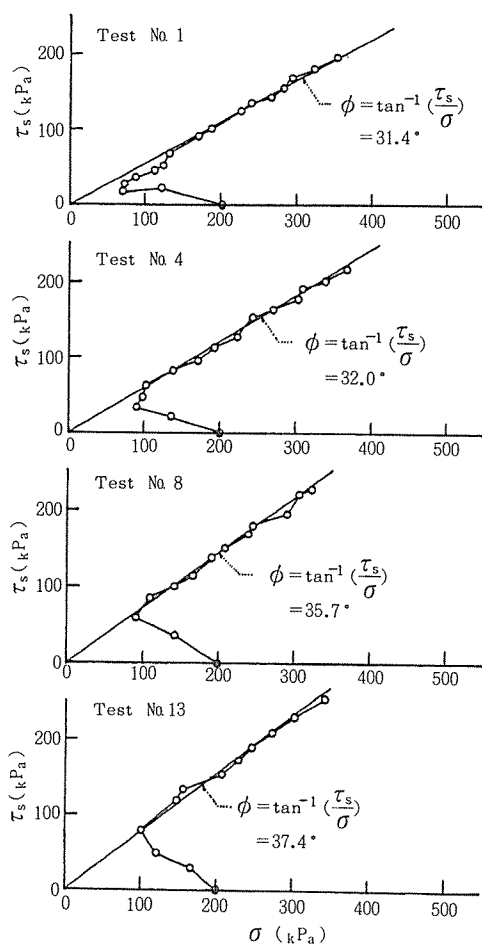


Fig. 5 Vector curves obtained from constant volume shear tests.

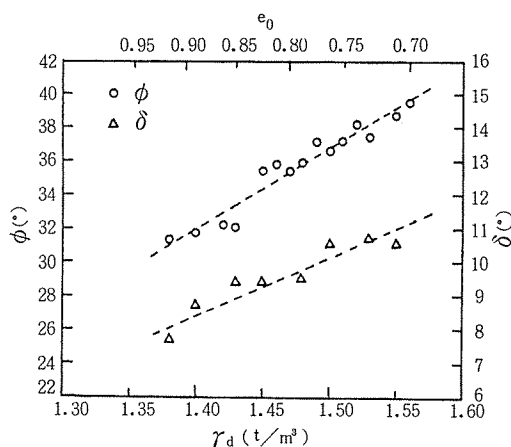


Fig. 6 Results on friction and shear tests under constant volume.

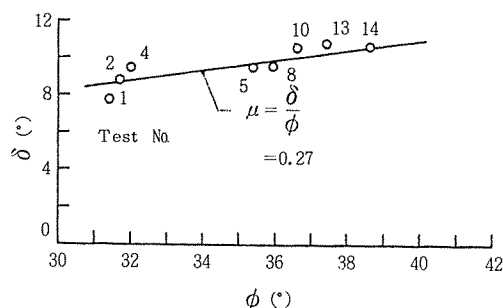


Fig. 7 Roughness of cone surface for sand, μ .

4. 粗 度 特 性

Fig. 6 より得られる δ と ϕ との関係を示したものが Fig. 7 である。図において δ と ϕ との間に原点を通る直線式を当てはめると砂とコーン表面との粗度 μ を表す関係式として次式がえられる。

$$\delta = 0.27\phi \quad (4)$$

(4)式より μ は次式で表される。

$$\mu (= \delta/\phi) = 0.27 \quad (5)$$

一般に砂の種類が変われば δ も ϕ も変化するが、その傾向は同様であると考えられるので結局は両者の比である μ は一定で、通常貫入試験に用いられるコーンの場合 $\mu = 0.3$ 位のオーダーの値をとるものと考えてよいであろう。

摘 要

コーン支持力はコーン表面の粗度 (μ) の影響を大きく受ける。砂の場合 μ はコーンと砂との間の摩擦角 δ と砂の摩擦角 ϕ との比として定義される；即ち、 $\mu = \delta/\phi$ 。

本論文は砂におけるこれら両者 (δ 及び ϕ) の特性を実験的に研究したものである。実験には直接せん断試験機を用いて砂のせん断試験を行うとともに、砂と通常用いられるコーンと同程度の表面粗度を有する鋼との間の摩擦試験を行った。せん断試験、摩擦試験ともに定体積条件下で行った。

試験結果から、通常用いられるコーン表面の砂に対する粗度 μ は砂の密度によらず $\mu = 0.27$ と一定値をとることが分かった。

文 献

1. Potyondy, J. G. (1961). Skin friction between various soils and construction materials. *Geotechnique* 11, No. 4, 339-353.
2. 石堂 稔・山内豊聡 (1972) 杭の周面抵抗について。九大工学集報 45, No. 6, 781-787.
3. Desai, C. S., Drumm, E. C. and Zaman, M. M. (1985). Cyclic testing and modeling of interfaces. *J. Geotech. Engineering* 111, No. 6, 793-815.
4. Yoshimi, Y. and Kishida, T. (1981). A ring torsion apparatus for evaluating friction between soil and metal surfaces. *Geotech. Test. J.* 4, No. 4, 145-152.
5. Kishida, H. and Uesugi, M. (1987). Tests of the interface between sand and steel in the simple shear apparatus. *Geotechnique* 37, No. 1, 45-52.